

УДК 697.443

Ю.И. Толстова А.Э. Туманова  
(Y.I. Tolstova, A.E. Tumanova),  
УрФУ, Екатеринбург  
(UrFU, Ekaterinburg)  
А.И. Сафронов  
(A.I. Safronov)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Ekaterinburg)

## ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД (HEAT ISOLATION – ECONOMICS METHOD)

*Представлены результаты анализа методик расчета тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения. Показана необходимость учета климатических и экономических условий и цен на тепловую энергию и изоляционные материалы.*

*Provided is the analysis of methods for thermal isolation calculation. Construction norms do not include climatic and economic conditions and prices for heat energy and isolation materials in Russian regions. The results of calculation show necessity to use economic indicators for creating norms.*

Одним из направлений повышения эффективности производственных процессов является минимизация тепловых потерь при транспорте энергоносителей. В настоящее время эта задача регламентируется Сводом правил СП 61.13330.2012. «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» [1].

В соответствии с указаниями этого нормативного документа расчет тепловой изоляции трубопроводов должен производиться по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока  $q_l$ . Значения  $q_l$  принимаются по таблицам в зависимости от способа прокладки, диаметра трубопровода и среднегодовой температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

Следует отметить, что приводимые в СП 61.13339.2012 [1] значения среднегодовых температур теплоносителя не учитывают климатических особенностей района строительства и являются весьма ориентировочными.

Наиболее обоснованные результаты может дать методика выбора оптимального варианта тепловой изоляции трубопроводов по экономическим условиям, изложенная в учебнике А.А. Ионина и др. [2]. При этом оптимальному варианту должны соответствовать минимальные затраты финансовых средств.

Известно, что тепловая изоляция трубопроводов предназначена для снижения потерь тепла при транспорте теплоносителя. При увеличении толщины теплоизоляционного слоя затраты на материалы и устройство тепловой изоляции увеличиваются, а затраты на компенсацию теряемого тепла уменьшаются.

Сумма этих затрат имеет следующую тенденцию: при увеличении толщины теплоизоляционного слоя суммарные затраты снижаются, а затем увеличиваются. Оптимальными будут такие толщины слоев изоляции подающего и обратного трубопроводов, при которых сумма затрат будет минимальной.

Годовые затраты на поддержание заданных параметров теплоносителя (приведенные затраты) складываются из затрат на устройство тепловой изоляции и эксплуатационных затрат (затрат на компенсацию теряемого тепла):

$$П = EK + Э, \quad (1)$$

где  $П$  – приведенные затраты, руб./год;

$E$  – коэффициент эффективности капитальных вложений или процентная ставка кредита, 1/год;

$K$  – капитальные затраты, руб.;

$Э$  – затраты на компенсацию теряемого тепла (стоимость тепловой энергии), руб./год.

Решение задачи можно получить, задавая разные значения толщин тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов и определяя величину затрат ( $K$ ,  $Э$  и  $П$ ).

Отметим здесь, что стоимость тепловой энергии зависит от тарифов, устанавливаемых региональными энергетическими компаниями. Что касается стоимости и теплозащитных свойств современных типов тепловой изоляции трубопроводов, то эти показатели зависят от вида материала и определяются производителями.

Рассмотрим методику расчета толщины тепловой изоляции при подземной прокладке трубопроводов в непроходных каналах.

Материал тепловой изоляции принимается с учетом рекомендаций [1], и проводится ряд параллельных расчетов затрат для различных значений толщин теплоизоляционного слоя подающего и обратного трубопроводов. Сначала назначается толщина изоляции обратного трубопровода  $\delta_2 = 0$ . Интервал значений толщины изоляции подающего трубопровода начинается с нуля:  $\delta_1 = 0, 40, \dots$  мм до тех пор, пока суммарные затраты  $П$  не начнут увеличиваться. Затем назначаем  $\delta_2 = 40$  мм, и расчеты повторяются. Увеличение значений  $\delta_2$  прекращают, когда минимальная сумма затрат начнет возрастать. Принимается такое сочетание значений  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , при которых суммарные затраты  $П$  окажутся минимальными.

Капитальные затраты включают стоимость изоляции одного погонного метра подающего  $K_1$  и обратного  $K_2$  трубопроводов и определяются как произведение стоимости материала,  $c_{из}$  (руб./м<sup>3</sup>) на объем 1 п. м. теплоизоляционного слоя:

$$K = K_1 + K_2 = c_{из}(\pi/4(d_{из1}^2 - d_{н1}^2) + c_{из}(\pi/4(d_{из2}^2 - d_{н2}^2)). \quad (2)$$

Здесь  $d_{из1}$ ,  $d_{из2}$  – наружные диаметры теплоизоляционного слоя подающего и обратного трубопроводов, м;

$d_{н1}$ ,  $d_{н2}$  – наружные диаметры трубопроводов, м.

Затраты на компенсацию теряемого тепла (стоимость тепловой энергии) рассчитываются как произведение стоимости тепловой энергии  $c_m$  и годовых потерь тепла  $q_{год}$  одного погонного метра подающего и обратного трубопроводов:

$$\mathcal{E} = c_m q_{год}, \quad (3)$$

где  $q_{год} = Z(\tau_{1cp} - t_k)/R_1 + Z(\tau_{2cp} - t_k)/R_2$ ;

$Z$  – продолжительность работы системы теплоснабжения в течение года, с;

$R_1$ ;  $R_2$  – термические сопротивления тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов.

Среднегодовая температура воздуха в канале  $t_k$  определяется из уравнения теплового баланса канала:

$$t_k = (\tau_{1cp}/R_1 + \tau_{2cp}/R_2 + t_0/R_k) / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_k),$$

где  $\tau_{1cp}$ ,  $\tau_{2cp}$  – среднегодовые температуры теплоносителя подающего и обратного трубопроводов для круглогодичных сетей;

$R_k$  – термическое сопротивление стенки канала с учетом грунта;

$t_0$  – среднегодовая температура окружающей среды; при заглублении верха канала менее 0,7 м принимается равной среднегодовой температуре наружного воздуха.

Термические сопротивления тепловой изоляции  $R_1$  и  $R_2$ , а также стенки канала  $R_k$  рассчитываются по формулам, приведенным в [2].

Сравнивая минимальные значения приведенных затрат по вариантам сочетаний толщин тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов, получаем оптимальную толщину тепловой изоляции для подающего и обратного трубопроводов. При этом будут учтены региональные климатические и экономические условия, что позволяет принимать более обоснованные решения.

### Библиографический список

1. СП 61.13330.2012. Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М.: Минрегионразвития. 2011. 78 с.

2. Теплоснабжение / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков [и др.]. М.: Стройиздат, 1982. 336 с.; Репринт. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 336 с.

УДК 676.1.024.1

В.М. Халтурин, О.Б. Пушкарева  
(V.M. Halturin, O.B. Pushkareva)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Ekaterinburg)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ВОЛОКНИСТОЙ  
СУСПЕНЗИИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПОТОКА БУМАЖНОЙ МАССЫ**  
(STUDYING OF FIBER SUSPENSION STRUCTURE EFFECT  
ON ENERGY CHARACTERISTICS OF STOCK FLOW)

*Рассматривается влияние структуры потока волокнистой суспензии на гидравлические потери и коэффициент гидравлического трения на различных скоростях транспортирования по трубопроводу.*

*The article deals with the structure of the fiber suspension flow on hydraulic losses and the hydraulic friction coefficient at various speeds of pipeline transporting.*

На энергетические характеристики потока бумажной массы большое влияние оказывает ее внутренняя структура, которая характеризуется профилем эпюры скоростей по поперечному сечению трубопровода.

В качестве примера на рисунке представлено изменение внутренней структуры потока сульфитной беленой целлюлозы концентрацией 2,4 % и степенью помола 20° ШР при течении по трубопроводу диаметром 102 мм. Для более ясного понимания режимов течения на этом же рисунке показаны графики зависимости гидравлических потерь  $h_f = f(v)$  и коэффициента гидравлического трения  $\lambda = f(v)$  для данной суспензии. Для сравнения на рисунке приведены аналогичные данные при течении по трубопроводу чистой воды\* [1].

Из рисунка следует, что поток волокнистой суспензии при своем движении с увеличением скорости трансформируется из стержневого (кривая АД) в диспергированный (после точки Д). Для стержневого потока характерны три стадии развития: стержневой поток с организацией

---

\* Осипов П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод: учеб. пособие [для вузов]. М.: Лесн. пром-сть, 2006.